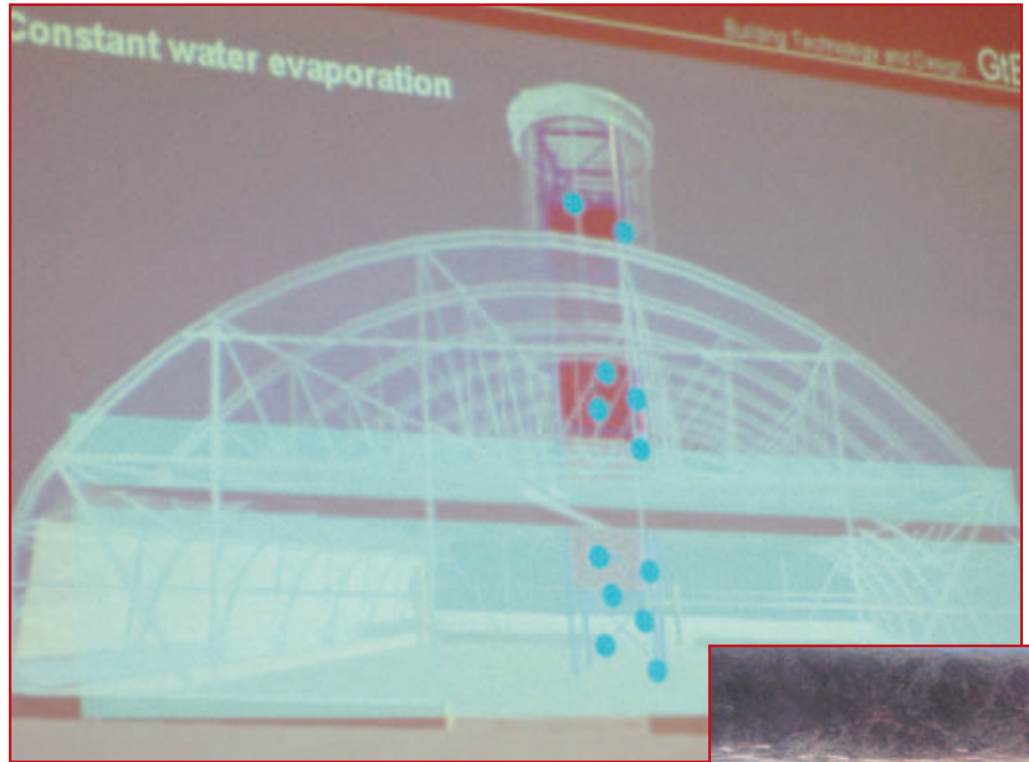


Producción sustentable

"El desarrollo sustentable es el desarrollo que satisface las necesidades de esta generación sin impedir que la próxima generación pueda satisfacer sus propias necesidades" (Hall, 2001). En los países mediterráneos y del norte de Europa, la innovación en los invernaderos va a contribuir a la agricultura sustentable a través del uso de recursos renovables y tecnologías amigables. El ahorro de energía es posible en invernaderos calefaccionados, a través del uso de nuevas cubiertas y materiales, o el uso más eficiente de la energía solar. Además, ya existen invernaderos solares diseñados. Estas fueron algunas de las conclusiones más importantes del Simposio Greensys que se realizó en Bélgica.



La sustentabilidad, en el caso de los invernaderos, depende de muchos factores: la unidad de superficie de suelo, materia seca, energía, proteínas, ingresos. Y también debe incluir las modificaciones que los invernaderos generan en los recursos medioambientales, como el paisaje, el agua y el suelo. Existen tres indicadores que nos permitirán determinar si la actividad productiva en invernaderos es sustentable: el uso de recursos renovables, el uso de recursos no renovables y los niveles de contaminación.

EUROPA DEL NORTE: HACIA SISTEMAS DE BAJO CONSUMO DE ENERGÍA

Los cultivos bajo invernadero en el Noroeste de Europa utilizan sistemas técnicamente muy avanzados como los sistemas de control de clima, hidroponía e intertransporte. La

producción sustentable todavía es un desafío para los productores. Jaap van der Veen, director de los productores de hortalizas de Holanda resalta los resultados de los últimos años: aumento en un 50% en la eficiencia en el uso de la energía desde 1980; reducción de descargas de químicos en un 80% desde 1998; reducción en los desechos de parking en un 5%. "El negocio hortícola llama cada día más la atención de la opinión pública y de los políticos. En ambientes urbanos, la producción bajo invernadero debe ser sustentable". "Los invernaderos siguen siendo muy importantes en la agricultura debido a sus múltiples ventajas: alta productividad en áreas pequeñas, utilización máxima de la energía, producción durante todo el año, alta calidad, etc. Existe espacio para realizar nuevas innovaciones como utilizar menos quí-



le en invernaderos



micos, control biológico de plagas, minimizar el uso de agua y nutrientes en sistemas cerrados, uso más eficiente de la luz artificial y menos mano de obra a través de la robotización".

Señala Jaap van der Veen: "Nosotros creemos que la innovación produce sustentabilidad. Y nuestro desafío en Holanda es que al año 2020 todos nuestros invernaderos trabajen sin usar combustibles fósiles, con un uso mínimo de químicos y emisiones muy bajas de CO₂".

INVERNADEROS EN EL MEDITERRANEO: GRAN MARGEN PARA INNOVAR

El cultivo bajo invernadero se ha expandido rápidamente en el mediterráneo, con más de 200.000 hectáreas. Los invernaderos más predominantes son los simples hechos con plástico. Estos sistemas más sencillos se adoptan basados en el concepto de minimizar el capital y la tecnología invertidos. En estas regiones, inver-

tir en sistemas más "high tech" muchas veces no se justifica porque no genera el suficiente retorno a la inversión. Pero, estos invernaderos simples presentan algunas limitaciones como ventilación y control de humedad muy pobre, y la transmisión reducida de luz a través del plástico.

Según Stefania di Pascale, de la Universidad de Nápoles los sistemas mediterráneos se deben optimizar de la siguiente forma: "en climas cálidos, ocurren dos fenómenos: en invierno la radiación se debe optimizar en los invernaderos, minimizando la pérdida de energía. En el verano, la temperatura se debe reducir a través del uso de mallas para mantener altos niveles de producción".

El manejo del agua es un tema crítico en la agricultura del Mediterráneo: los invernaderos se caracterizan por una mejor eficiencia en el uso del agua. En los invernaderos no calefaccionados del Mediterrá-

neo un cultivo de tomate utiliza 40 litros de agua por Kg. de producto, solo 1/3 menos que lo que necesita un tomate cultivado al aire libre (60 litros). Existen tres razones para esta mejor eficiencia: evaporación potencial reducida, mayor productividad, y el uso de tecnologías de riego más avanzadas (goteo y reciclaje de agua). Pese al desarrollo de estas tecnologías tan precisas, las plantas cultivadas en invernaderos están expuestas a diversas situaciones de estrés: como la escasez de agua, alta temperatura, y estrés salino (comúnmente asociado al uso de agua de mala calidad y el reciclaje del agua de drenaje). Según Stefania de Pascale: "se puede optimizar el sistema modificando el ambiente de la planta y/o modificando la fisiología de la planta. El manejo del riego, basado en las necesidades de la planta y el suelo, puede ser más preciso. La concentración óptima de CO₂ (entre 700 y 900 ppm) también puede ser una forma de optimizar la fotosíntesis".

El riego y la fertirrigación son muy utilizados en invernaderos porque permiten una distribución fácil de los nutrientes. Pero, la distribución simultánea de agua y fertilizantes puede generar pérdidas en términos de la eficiencia de la fertilización. El riego en el largo plazo también puede traer problemas que afecten la sustentabilidad del sistema. Entre los problemas podemos incluir: la acumulación de cloruro de sodio y otras sales en el suelo; concentración creciente de nitratos y pesticidas en las aguas superficiales y subterráneas; disminución de la fertilidad del suelo debido a la modificación de la estructura del suelo y de sus propieda-

DOS PREGUNTAS A

**Profesor Gerard Bot,
 Organizador del Simposio Greensys**

Greensys se organizó paralelamente a Ageng en Lovaina este año. ¿Qué tan grande fue el evento?

En Greensys 2004 participaron 190 científicos de 29 países. AgEng, que se realizó en forma simultánea congregó a 500 personas. Ha sido todo un éxito y una excelente colaboración entre la ingeniería y la ciencia agronómica.

¿Cuáles son las principales tendencias en la tecnología de invernaderos?

Existen nuevos materiales y productos para invernadero muy promisorios. Pero, obviamente, su desarrollo dependerá del valor de la energía. Creo que podemos mejorar mucho más en materiales para cubrir los invernaderos. Y los sistemas de manejo se deben adecuar a las prácticas sustentables.



35kg/ha para cultivos de hortalizas. En estos invernaderos queda mucho por hacer porque la eficiencia en el uso de fertilizantes todavía es muy baja: solo entre 30-50% de Nitrógeno y 45% de Fósforo es tomado por la planta. Se pueden evitar las pérdidas a través de un mejor balance nutricional. Y el uso de pesticidas se puede reducir con programas más amplios de Manejo Integrado de Plagas. Stefania de Pascuale afirma que pese a su impresionante desarrollo, la agricultura en invernaderos todavía está muy cercana a los cultivos al aire libre: "este sistema se puede mejorar considerablemente con mejores variedades, mayor conocimiento de la fisiología vegetal y el uso de tecnologías limpias. Hay un gran margen para progresar".

AHORRO DE ENERGIA A TRAVES DE NUEVOS MATERIALES

En las zonas de clima más frío



"Las producciones en los invernaderos mediterráneos todavía no son muy superiores a aquellas obtenidas al aire libre. Queda mucho todavía por progresar", señala Stefania de Natale.

des físico-químicas; y la pérdida de agua por el uso de sistemas poco eficientes.

Estos problemas se pueden controlar y minimizar a través de un manejo eficiente de la irrigación, el que idealmente debe sincronizar el riego con la demanda del cultivo. Esto se puede lograr a través de la sincronización de la entrega de agua en la zona radicular y evitar que se pierda agua en percolación. También se debe maximizar la capacidad de la planta para absorber nutrientes en la zona radicular e implementando el control de la salinidad del suelo en la programación del riego.

Según Stefania de Pascuale: "otras prácticas eficientes son aquellas orientadas a reducir la evaporación desde el suelo como el mulch y lograr que el cultivo cubra uniformemente el suelo. También se puede obtener agua de buena calidad a través de la recolección de aguas lluvias en estanques superficiales o subterráneos". Se deberá prestar mayor atención a cómo responden y se adaptan las plantas a las condiciones bajo invernadero. Los avances recientes en la genética molecular de la adaptación al estrés con certeza nos van a permitir entender mejor cómo se puede mejorar el rendi-



"La innovación aporta sustentabilidad. Los invernaderos todavía son un concepto muy potente en la producción agrícola. Nuestro desafío en Holanda es lograr que para el año 2020 los invernaderos operen sin utilizar combustibles fósiles", señala Jaap Van der Veen.

miento de las plantas en términos de uso de agua. El ambiente de las plantas y su fisiología son dos aspectos cruciales que deben ser considerados para diseñar estrategias orientadas a mejorar la eficiencia en el uso del agua. Los invernaderos en el Mediterráneo también generan otros impactos en el medioambiente como son los desechos químicos y de plásticos. En Almería, España, la producción de desechos plásticos equivale a 1.1ton/ha/año. El consumo promedio de fertilizantes alcanza a los 1700 kg/ha y los pesticidas a

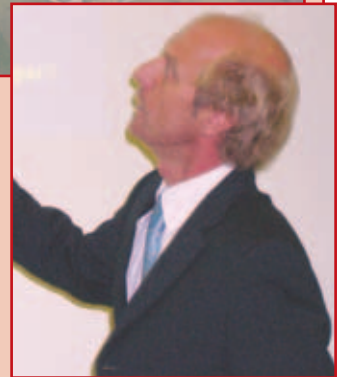


es necesario ahorrar energía en invierno. En el futuro cercano, la presión sobre los agricultores para que reduzcan su consumo de energía aumentará. La asociación de productores de Holanda se ha impuesto que para el año 2010 sus asociados deben reducir en un 65% la energía que consumen en comparación con 1980. Para lograr este objetivo se deben tomar varias medidas. Más allá de las tradicionales como el uso de cortinas y optimizar los sistemas de calefacción, los agricultores deberán incorporar innovaciones como mejores sistemas de aislamiento", explica P.J. Sonneveld, de Wageningen.

En Wageningen se han investigado nuevos materiales en búsqueda de mejor transmisión de luz y aislamiento de la temperatura. Los materiales más promisorios son aquellos que entreguen alta transmisión de luz con alta capacidad aislante.

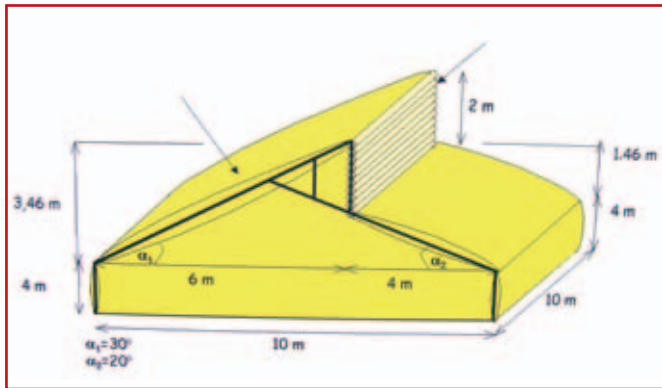
En la práctica ya existen láminas dobles de plástico. Algunos de los materiales que se aplican son el polimetilmetacrilato (PMMA) y el policarbonato (PC). Estas láminas rígidas tienen buenas capacidades aislantes (dependiendo del grosor de las capas de aire dentro de las láminas). Pese a ello, el uso de estos materiales fue bastante menor en los últimos años debido a que transmiten cerca de un 10% menos de luz comparadas con el vidrio tradicional. Más aún, la transmisión de luz se reduce con el tiempo conforme envejecen los productos. Por ejemplo, la transmisión de luz difusa de un PC doble estándar de 10mm es de 68,1%. Para una lámina doble de PMMA el valor sube a 75,5% (Breuer and Sonneveld, 2000). Actualmente se están introduciendo nuevos productos: IMAG ha desarrollado en conjunto con General Electric, una lámina denominada "de zig-

SISTEMAS MEJORADOS CON EL APOYO DE TOMGRO



En Colombia, los invernaderos normalmente tienen una estructura simple y no se calefaccionan. Para la producción de flores, este sistema se utiliza en la zona de Bogotá donde la temperatura es adecuada durante el día pero baja en la noche. Pero, la producción de flores tiene algunas limitaciones debido a las bajas temperaturas en la noche. Utilizamos nuestro modelo TOMGRO para simular una serie de estrategias de adaptación climática en el cultivo de tomate en invernadero. Se propusieron un total de 8 adaptaciones a los invernaderos. Se evaluaron un tubo de polietileno inflable, una pantalla termal, incorporar calefacción y el aporte de CO₂. Con estas estrategias, calculamos una serie de temperaturas promedio entre 14.7 y 20.0 °C. En la medida en que la temperatura promedio del invernadero es mayor, también se obtiene mayor producción y mayores ingresos económicos, pese a que la transmisión de luz del invernadero decreció con el tubo inflable y con la malla térmica. La productividad máxima –sin inyección de CO₂– se obtuvo en un tratamiento en que el invernadero se calefaccionó para que no bajara de 18 °C. Con esto, se obtuvieron 41 kg/m² para un periodo de producción de 300 días. Para cada tratamiento climático, se pueden seleccionar sistemas específicos de densidad

de plantación y poda de frutos para así obtener un peso promedio de fruto ideal, en un rango que varía en 25 gramos, sin afectar el ingreso económico total. Se obtuvieron buenos resultados al sencillamente cubrir el invernadero con malla en la noche, lo que elevó la temperatura en 2 °C. Calefaccionar el invernadero a 15 °C o a 18 °C generó mayores rendimientos (37 y 40 kg/m²) por un costo de 0,57 y 1 USD/m², respectivamente. La aplicación de CO₂ tuvo poco impacto, todavez que los invernaderos eran abiertos durante gran parte del día. "La baja temperatura es el principal factor limitante en este sistema. La temperatura más alta permite mejorar los ingresos, tener un periodo de cosecha más largo y mejor tamaño de frutos", señala Eddie Shrevens de la Universidad de Lovaina. Este modelo de simulación entregó resultados razonables y puede ser usado para calcular otras estrategias de adaptación climática y evaluar microclimas en zonas tropicales de altura.



zag". La lámina es doble, de PC, pero con una geometría en forma de zigzag. La idea era crear una lámina que aislara bien pero que transmitiera la misma cantidad de luz que un vidrio simple. La transmisión de una lámina zigzag doble (480) es de 89% para luz directa. Un vidrio simple transmite entre 89 y 91% y un PC normal, entre 68-72% (Mediciones IMAG, 2000). La transmisión de las láminas puede ser mejorado aún más

si se le aplican cubiertas anti-reflexión. Si se le aplica uno de estos productos en las cuatro caras de la lámina zigzag su transmisión se iguala con la de un vidrio. Los resultados en ahorro de energía con esta nueva lámina también han sido prometedores. En invierno, cuando la calefacción está al máximo, se calcula que el ahorro de energía llega a 45%. Ahora, al ser mejor aisladas se requiere de mayor ventilación para extraer

la humedad, lo que genera algunas pérdidas de energía. Pero, en el balance final, los costos de energía disminuyen significativamente. "Con estos nuevos materiales (vidrio ARM y PC Zigzag) calculamos que el ahorro en energía es de entre 20 y 25% comparados con vidrio simple", señala Piet Sonneveld.

HACIA UN INVERNADERO SOLAR

"Un invernadero es prácticamente un colector solar: uno de nuestros desafíos es diseñar un sistema óptimo que funcione con energía sustentable, sin combustibles fósiles", señala Gerard Bot, de Wageningen. La energía no solo es un problema medioambiental. En Holanda, los costos de la energía son entre un 15 y 20% de los costos totales.

Actualmente se ha logrado crear un modelo de invernadero diseñado para reducir drásticamente la demanda por energía. Este sistema incluye un sistema de control dinámico. Según Gerard Bot: "El primer paso para reducir la demanda de energía es aislar la cubierta del invernadero. El "cuello de botella" es mantener una transmisión de luz alta. Ya hemos producido la primera generación de materiales adecuados. El segundo paso es sustraer energía solar del verano desde el invernadero, y almacenarla en un acuífero a baja temperatura y explotar esta energía en invierno con una bomba de calor (heat pump)". El uso de energía en el norte de Europa enfrenta dos desafíos. La demanda por energía es alta durante los períodos fríos con baja radiación solar (durante el invierno y durante la noche). En el verano, con alta radiación, la mayor parte de la energía solar debe ser extraída con ventilación.

En el proyecto del invernadero solar, el primer objetivo es reducir la demanda por energía y el segundo es cosechar y almacenar energía solar del verano de modo de suplir la de-

manda de invierno.

Para disminuir la demanda de energía, se desarrollaron materiales aislantes, que dejen pasar bastante luz, y con un sistema constructivo especial. En verano la energía se puede extraer desde el invernadero caliente a través de un intercambiador de calor aire-agua. Para hacer más eficiente el intercambio de calor, el agua debe estar lo más fría posible. Con temperaturas de 25°C en el invernadero, se puede calentar el agua hasta 20°C. De esta forma, la energía se puede almacenar en agua a una temperatura relativamente baja: se puede encontrar una gran capacidad de almacenamiento en un acuífero.

La calefacción del invernadero utiliza en invierno la energía "cosechada" en el verano y almacenada en un acuífero. Esta está disponible a 20°C, lo que todavía es muy bajo para poder calefaccionar bien el invernadero en invierno, aunque esté bien aislado.

Para reducir más la demanda por energía, parte de la investigación se ha abocado a investigar las membranas plásticas (plastic foils). El primer enfoque fue en PVDF. Más aún, se investigó el PE a través de multicapas con índices de refracción alternados. Esto fue prometedor pero solo se ha llegado al concepto. También existe un material muy prometedor, ETFE, pero su costo es muy alto. Estas membranas se pueden aplicar de a dos o tres capas y transmiten la luz como si fueran solo una capa. "Si la referencia fuera una capa simple con una cortina termal, que es lo comúnmente utilizado, podemos afirmar que nuestro invernadero solar genera ahorros de un 50% de energía actualmente. Si mejoramos las membranas, creo que podemos llegar a ahorrar hasta un 75%", señala Gerard Bot. "En el futuro, también podremos aportar energía sustentable con la producción de biomasa, energía eólica y solar".

MÁS INFORMACION SOBRE GREENSYS 2004

Greensys fue organizada en forma conjunta con otro evento llamado AgEng 2004. El objetivo del Simposio era conocer el estado del arte en el desarrollo sustentable de sistemas de invernaderos y fomentar el intercambio de ideas entre ingenieros y agrónomos. El simposio incluyó reuniones sobre diseño de invernaderos, estrategias de ahorro de energía, tolerancia de los cultivos, control climático, sensores en horticultura, Automatización-cultivos-medioambiente y sistemas de apoyo a la vida en el espacio. Las presentaciones y los posters se pueden solicitar contactando a los organizadores:



Email: greensys2004@wur.nl
<http://www.greensys2004.nl>

AgEng2004
 c/o Technologisch Instituut
 Luc Baele, Conference Coordinator
 Desguinlei 214
 BE -2018 Antwerpen (Belgium)
 Tel + 32 3 260 08 40
 Fax + 32 3 216 06 89
 Email: info@AgEng2004.be
 Web: www.AgEng2004.be

Greensys 2004
 c/o Wageningen UR
 Prof. Dr. Gerard Bot & F. Marsalis
 PO Box 43
 NL6700 AA Wageningen
 Tel + 31 317 476 442
 Fax + 31 317 425 670